

Impact du changement climatique sur les écosystèmes naturels et cultivés

B. Seguin

▶ To cite this version:

B. Seguin. Impact du changement climatique sur les écosystèmes naturels et cultivés. Forêt Méditerranéenne, Forêt Méditerranéenne, 2008, XXIX (2), pp.127-136. hal-03573311

HAL Id: hal-03573311
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03573311

Submitted on 14 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Impact du changement climatique sur les écosystèmes naturels et cultivés

par Bernard SEGUIN

Bernard Seguin traite plus spécifiquement ici des conséquences du réchauffement sur les agro et écosystèmes. En France, il est déjà possible d'observer des impacts sur les écosystèmes cultivés et naturels, en particulier au niveau de leur phénologie et de leur productivité. Même s'il est difficile d'isoler le facteur climatique de l'ensemble des autres facteurs, il est clairement attesté que le climat actuel évolue significativement.

Le changement climatique et ses impacts : le contexte

La publication du quatrième rapport du GIEC au cours de l'année 2007 a renforcé la crédibilité scientifique et sociétale de la réalité du phénomène du changement climatique. C'est, en particulier, la confrontation des scénarios climatiques pour le XXI^e^ siècle et des observations récentes qui permet maintenant d'attribuer les changements observés, au-delà des facteurs naturels, à l'accroissement de l'effet de serre par l'action anthropique. La température moyenne de surface a augmenté de 0,6° C (avec une incertitude en plus ou en moins de 0,2° C) depuis 1860. Le XX^e^ siècle a probablement été le siècle le plus chaud depuis 1 000 ans et la décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important de ce siècle. Les données purement climatiques sont corroborées par des observations sur des indicateurs qui en dérivent directement : diminution de la surface de couverture neigeuse et des glaciers de montagne ou de la glace de mer, élévation du niveau de la mer, etc. ou indirectement par le biais de l'impact sur les différents écosystèmes (GIEC 2007b).

Ces évolutions récentes sont, pour la plupart, en bon accord avec les tendances identifiées dans les projections des scénarios climatiques du futur.

1 - C3, C4 : Les plantes fixent le CO_2 de l'atmosphère grâce à une molécule organique dont le nombre d'atomes de carbone diffère selon les espèces : d'où une différenciation fonctionnelle entre les plantes en C3 (3 atomes de carbone), dont la majorité des cultures des zones tempérées telles que le blé, le riz, etc. et les plantes en C4 (4 atomes de carbone), plutôt d'origine tropicale comme le maïs ou le sorgho.

2 - Résistance stomatique : la fermeture des stomates induit un ralentissement des échanges gazeux, dont la transpiration dans le cas de la vapeur d'eau. L'intensité de ce freinage peut s'exprimer par l'équivalent d'une résistance dans l'expression biophysique des échanges en question.

Les caractères généraux des impacts prévisibles sur la production végétale

Dans ses grandes lignes, au niveau du fonctionnement écophysiologique des plantes cultivées, le premier élément à prendre en compte n'est pas directement lié à la modification des variables climatiques, mais plutôt au facteur qui en est essentiellement responsable, à savoir l'augmentation du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone) atmosphérique CO_2. En effet, celle-ci produira un effet spécifique aux couverts végétaux en stimulant la photosynthèse : avec l'hypothèse d'un doublement du CO_2 pour la fin de ce siècle, les résultats font état d'une augmentation de la photosynthèse brute de l'ordre de 30% pour les plantes en C3 [1] (telles que le blé, le riz, etc.) et de 15% pour les plantes en C4 [1] d'origine tropicale comme le maïs, à cause d'un plateau de saturation de la photosynthèse atteint à des concentrations en CO_2 inférieures pour les C4. Ce qui conduit à une augmentation de l'assimilation nette de l'ordre de 20% pour les C3 et 10% pour les C4, en prenant en compte l'augmentation de la respiration liée à l'élévation de température. Cette augmentation est modulée par l'intervention possible d'autres facteurs limitants potentiels (nutrition azotée et autres éléments minéraux), à la fois dans son intensité et dans sa durée au cours du cycle, ce qui se traduira au final par une augmentation de la production potentielle de biomasse, assez variable dans une gamme allant de 0 à 30%. Par ailleurs, il faut envisager une augmentation de la résistance stomatique [2], limitant la transpiration et qui conduit à une meilleure efficience d'utilisation de l'eau (rapport photosynthèse nette / transpiration) en particulier pour les C4 (Bethenod *et al* 2001). Le tout conduira à une augmentation significative de la production potentielle de biomasse, comme illustré dans la figure 1.

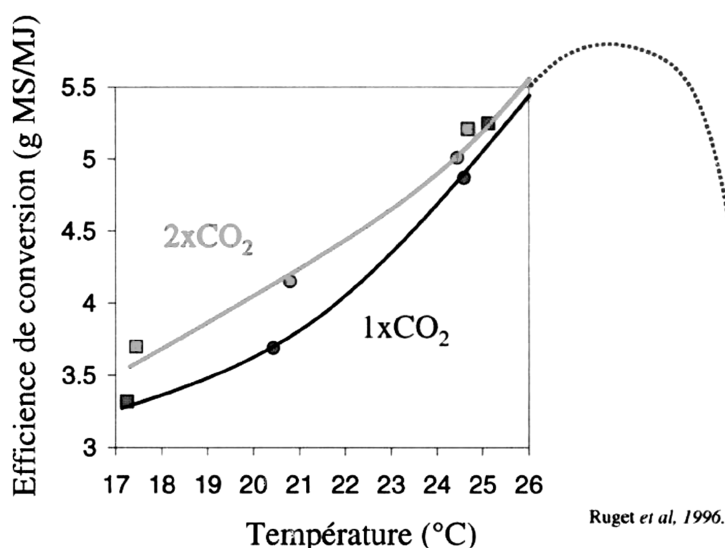


Fig. 1 : Augmentation de l'efficience de conversion du maïs par un doublement de la concentration en CO_2 à différentes températures (d'après Ruget *et al,* 1996)

Cet effet sur la photosynthèse sera combiné à l'effet propre du réchauffement climatique sur la température en premier lieu, mais également sur les autres facteurs, en particulier la pluie. Bien que la réponse physiologique des plantes à un enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique et à une augmentation concomitante de la température entraîne en théorie une production plus importante de biomasse, les effets sur le rendement des espèces cultivées, à l'échelle du peuplement, risquent d'être beaucoup plus contrastés. Cela est particulièrement vrai pour le Sud, où l'optimum thermique pour la photosynthèse est souvent déjà atteint (par exemple pour le riz, dont la fertilité des épillets décroît fortement au-delà de 34°C, ou pour le maïs, dont la viabilité du pollen baisse au-delà de 36°C), sinon dépassé dans certaines conditions. Dans les conditions tempérées, l'augmentation de température peut favoriser la plupart des processus physiologiques, mais elle aura également un impact négatif sur les cultures telles que pratiquées actuellement en accélérant leur rythme de développement et donc en raccourcissant les cycles de culture et, par suite, la durée de fonctionnement de l'usine photosynthétique. Au bout du compte, le bilan résultant en la production de biomasse devrait prendre des aspects variés, en fonction du type de couvert et des conditions climatiques associées aux conditions culturales pour les plantes cultivées.

C'est effectivement ce qui ressort du grand nombre d'études consacrées ces vingt dernières années à la prédiction sur l'impact du réchauffement climatique sur l'agriculture à l'échelle mondiale (Rosenzweig et Hillel 1998, Reddy et Hodges 2000). L'analyse des synthèses du GIEC de 2001 avait fait clairement apparaître une tendance à un effet majoritairement défavorable dans les régions tropicales chaudes, alors que les résultats pour les régions tempérées sont plus contrastés (Cf. Fig. 2). Le quatrième rapport a confirmé cette tendance, en mettant cependant en évidence un effet plus

négatif lorsque le réchauffement dépasse les 2 à 3°, comme illustré par la figure 3 pour le blé et le maïs.

Quels seront les effets sur la productivité des cultures en Europe ?

Les travaux effectués dans le cadre du projet européen CLIVARA (*Climate change, climatic variability and agriculture in Europe,* DOWNING *et al* 2000) et la revue de synthèse préparée par OLESEN et BINDI (2002) permettent de dégager les grandes lignes suivantes pour les impacts potentiels :

– l'action conjointe de la stimulation de la photosynthèse et d'un réchauffement de l'ordre de 2 à 3°C devrait se traduire par une augmentation de la productivité potentielle de la plupart des cultures (y compris les prairies) dans la plupart des régions. HULME *et al* (1999) ont établi que, pour le blé, l'influence du seul changement climatique (sans considérer de stimulation de la photosynthèse par l'augmentation du CO_2) n'aurait pas de poids significatif par rapport à la variabilité naturelle sur les trente dernières années, à l'exception de la Finlande, de l'Allemagne et des Pays-Bas. Par contre, l'introduction de l'effet du CO_2 conduit à des augmentations substantielles de 10 à 30%. Pour l'ensemble des cultures, les valeurs chiffrées, telles que celles rassemblées par OLESEN et BINDI (2002), sont difficiles à interpréter directement, car elles ont été obtenues par différents auteurs avec des hypothèses de départ différentes. Elles situent plutôt les augmentations dans un intervalle de 10 à 30 % pour le blé, de même que pour la pomme de terre, et plus pour le maïs ou le soja. Elles sont généralement plus

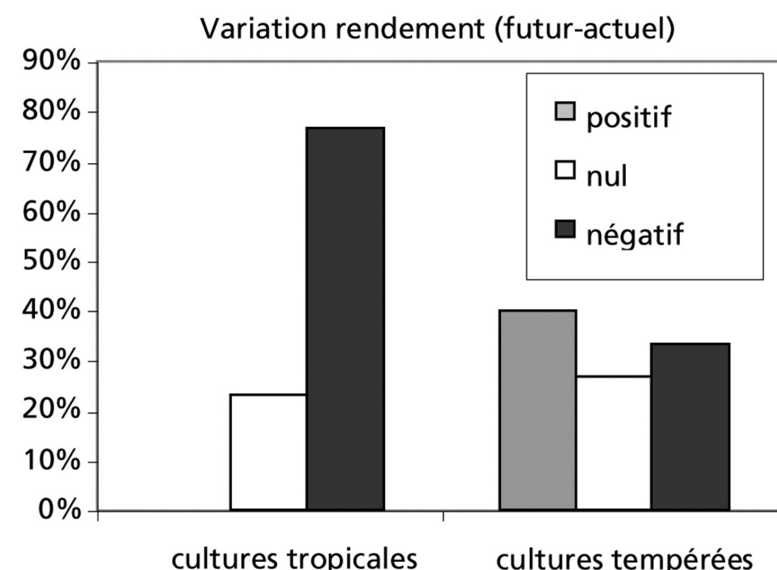


Fig 2 :
Effet du changement climatique sur le rendement des cultures (à partir de 43 études répertoriées dans le 3[e] rapport du GIEC)

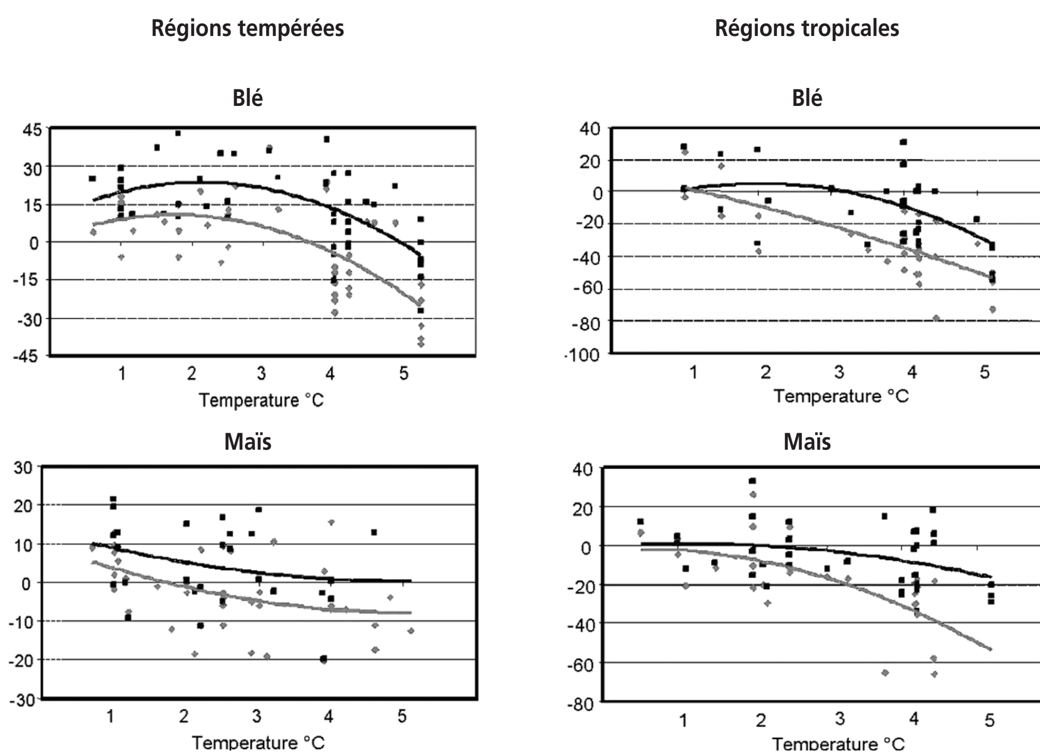


Fig. 3 :
Effet de différentes hypothèses de réchauffement sur le blé et le maïs en région tempérée (gauche) et tropicale (droite), sans (en gris) et avec adaptation (en noir)
D'après GIEC 2007b

En abscisse : changement de température moyenne locale (°C)

En ordonnée : pourcentage de changement du rendement pour le blé et le maïs

fortes pour le Nord de l'Europe (en particulier la Scandinavie) que pour le Sud (Espagne, Portugal) ou l'Est (Ukraine) ;

– dans ces régions, mais plus largement (sud de la France, Italie, Grèce), l'effet déterminant sera celui de la pluviométrie, un stress hydrique élevé et répétitif étant susceptible de convertir l'effet potentiel positif en résultat très négatif, comme cela a été vérifié au cours de l'été 2003 (SEGUIN *et al* 2004). Totalement exceptionnel par les températures de canicule plus élevées de 4 à 5°C que les normales saisonnières (CHUINE *et al* 2005), il a aussi été marqué par une sécheresse intense, qui a provoqué des baisses de rendement pouvant atteindre 20 à 30% localement pour les cultures d'été et plus de 50% pour la production fourragère, avec des effets intégrés avoisinant les 10% au niveau de l'Union européenne.

Ces tendances dans les projections se retrouvent au niveau du territoire français, comme l'ont établi les articles de synthèse de DELECOLLE *et al* (1999), SOUSSANA (2001) et plus récemment SEGUIN *et al* (2005).

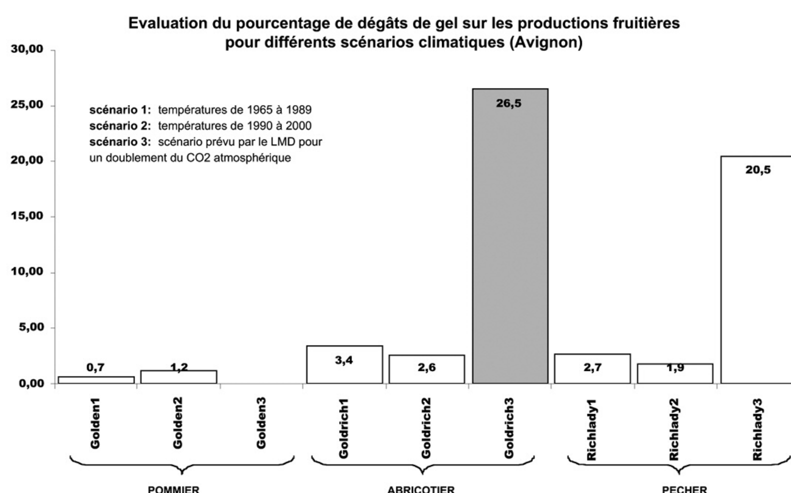
Au niveau des grandes cultures, les résultats des simulations effectuées avec les modèles de culture sur le blé et le maïs permettent de conclure à des effets légèrement positifs sur le premier (avec des augmentations de rendement allant de 2,5 % à 5,7%), et des effets plus variables sur le maïs (+10% à -16% dans le cas d'une culture irriguée dans le Sud-Est).

Au niveau des prairies, la conjugaison de travaux expérimentaux (sous serre et en enrichissement naturel à l'extérieur) et de modélisation à partir d'un modèle d'écosystème prairial, conduit à envisager, dans les conditions du Massif Central, une augmentation de la production de biomasse aérienne de l'ordre de 25 % (dont 18 % attribuables au seul doublement de CO_2). En termes de système d'élevage, la valorisation de cette augmentation de production devrait permettre une augmentation du chargement animal (en gros de 20%) ou une augmentation de la saison de pâturage de l'ordre de trois semaines, avec un accroissement de l'ingestion de 7 à 20 % et de 2 à 20 % pour la production de viande.

En ce qui concerne les cultures pérennes (arbres fruitiers et vigne), le facteur primordial devrait être l'avancée des stades phénologiques, d'autant plus marquée que l'on s'éloigne en cours de saison de la levée de dormance, qui risque d'être plus tardive à cause du manque de froid. Pour certaines espèces telles que l'abricotier, les hivers doux risquent même de créer des troubles physiologiques (chute de bourgeons, fruits avortés). Ensuite, l'action de la chaleur reprendra vite le dessus et l'avancée de la date de floraison peut conduire paradoxalement à augmenter le risque de gel (Cf. Fig. 4), et à envisager des conditions climatiques moins favorables pour la fécondation et la pollinisation, en dépit du réchauffement des températures. Pour la vigne, la période de la maturation sera décalée d'après le 15 août à courant juillet, avec des conséquences certaines sur la qualité de la vendange, plus chargée en sucre (et donc en degré alcoolique) et moins en acide.

Il faut relativiser la portée de ces projections en notant que la disponibilité de l'eau peut devenir un facteur limitant prédominant, susceptible de fortement handicaper les cultures en cas de sécheresse forte et récurrente comme le montre l'expérience des années récentes, en particulier bien sûr 2003. Par ailleurs, les éléments qui viennent d'être présentés s'appuient uniquement sur les valeurs moyennes des facteurs climatiques. L'éventualité d'évènements extrêmes et, de façon plus large, la prise en compte de la variabilité de ces facteurs pourraient conduire à des impacts différents, par le dépassement de valeurs-seuils encore mal cernées. Enfin, il faudrait considérer l'impact sur les adventices (mauvaises herbes) et les insectes et maladies cryptogamiques, encore mal cerné à l'heure actuelle. Il a ainsi pu être constaté que, dans certains cas, le carpocapse des pommes est passé, dans le midi, de

Fig 4 :
Effet du réchauffement climatique sur les dégâts de gel simulés pour trois productions fruitières (pommier, abricotier, pêcher) sur le site d'Avignon



deux à trois cycles par an. A l'inverse, le phoma du tournesol a été sans doute limité ces dernières années dans le Sud-Ouest par les fortes températures, et pratiquement éradiqué pour le moment par la sécheresse de 2003. Au-delà des bouleversements des systèmes écologiques complexes que représentent les relations entre hôtes et parasites (il est possible que les décalages de cycles en réponse à l'augmentation de température soient significativement différents pour les deux composantes), il faut également prendre en compte la possibilité de mouvements géographiques qui amènent certaines maladies ou ravageurs, véhiculés par les moyens modernes de transport, à s'installer dans des régions où les conditions climatiques le leur permettront.

Les impacts observés sur les écosystèmes terrestres

Le réchauffement climatique récent a été maintenant bien attesté, aussi bien à l'échelle du globe (GIEC 2007 a) que du territoire français (MOISSELIN *et al* 2002, MOISSELIN et CANELAS 2005).

Comme le climat, les écosystèmes terrestres, qu'ils soient naturels ou cultivés, conjuguent une évolution à long terme qui traduit un déplacement de l'état d'équilibre avec une forte variabilité temporelle. L'attribution d'un changement écologique à ce réchauffement climatique récent n'est pas une question scientifique facile, d'une part parce que de nombreux facteurs autres que le climat agissent sur les réponses de différents systèmes ou secteurs (en premier lieu les facteurs anthropiques allant de l'économie à l'utilisation de la surface ou la modification du type d'occupation, en passant par les pollutions diverses dans l'atmosphère, les eaux et les sols), d'autre part parce que les impacts éventuels ne se répercutent pas forcément en réponse immédiate au forçage climatique, et qu'un temps de latence de durée variable caractérise l'inertie de différents systèmes. Il est donc logique que ces impacts soient seulement réellement identifiés depuis peu, avec quelques années de recul par rapport à la mise en évidence effective du réchauffement qui date seulement de la fin des années 90. Il faut aussi que des chercheurs de diverses disciplines soient stimulés afin de se mobiliser pour analyser une tendance éventuelle à travers leurs propres données, ce qui se fait progressivement actuellement.

Au niveau global, les impacts observés étaient ainsi pratiquement absents des deux premiers rapports du GIEC, et sont apparus en tant qu'information significative seulement pour le troisième rapport (GIEC, 2001). L'analyse effectuée alors, à partir de 2.500 articles publiés, portait uniquement sur les relations avec la température, en recherchant trois critères qui devaient être satisfaits simultanément : un changement observé sur au moins dix années, pouvant être corrélé de manière déterministe à un changement de température. Deux grandes catégories ont ainsi été mises en évidence : 44 études sur les plantes et les animaux, couvrant 600 espèces, dont 90 % (plus de 550) ont montré des signes de changement, avec 80 % (plus de 450) qui allaient dans le sens attendu. Et 16 études sur les glaciers, la couverture neigeuse et la glace sur les lacs ou les fleuves portant sur 150 sites. Environ 100 (67 %) montraient une évolution, dont 99 dans la direction attendue.

Les travaux préparatoires à la publication du quatrième rapport (GIEC 2007b) ont permis d'actualiser ces données globales (qui portent le nom de méta-analyses) : 13 études pour les changements dans la cryosphère, 22 pour l'hydrologie et les ressources en eau, 30 sur les processus côtiers, 37 sur les systèmes biologiques marins et d'eau douce, 156 sur les systèmes biologiques terrestres, et 32 sur l'agriculture et la forêt (soit 258 au total, à comparer aux 60 études mentionnées ci-dessus dans le troisième rapport).

En nous limitant aux écosystèmes continentaux, les effets observés peuvent être résumés ainsi :

– pour la cryosphère, une fonte accélérée qui se traduit par un recul généralisé des glaciers, une augmentation du ruissellement et des débits dans les zones glaciaires ou nivales, ainsi que des avalanches de glaces et de rochers, le déplacement des mammifères dans l'Arctique et de la faune de l'Antarctique, la fonte du permafrost dans les hautes latitudes, la nécessité de déplacer vers le haut les stations de ski, etc.

– pour l'hydrologie et les ressources en eau, l'accroissement des sécheresses en zone aride et semi-aride, les inondations et les

glissements de terrain pendant la saison chaude en zones montagneuses ;

– pour les eaux douces, fleuves et rivières se réchauffent, avec des conséquences bien établies sur la stratification thermique et la composition chimique, l'abondance et la productivité, la composition des communautés, la phénologie, la distribution et la migration des espèces végétales et animales ;

– pour les systèmes biologiques terrestres, des réponses bien établies dans l'hémisphère nord avec une avancée généralisée de la phénologie au printemps, et une saison de végétation plus longue. La population de certaines espèces a diminué ou même disparu, et des mouvements vers le nord ou des altitudes plus élevées ont été observés ;

– pour l'agriculture et la forêt, une avancée similaire de la phénologie en Europe et en Amérique du nord (observée au sol, mais aussi par satellite), avec une saison de végétation sans gel allongée (en partie sans doute à l'origine de l'augmentation de la productivité forestière, de l'ordre de 30 à 40%, maintenant également confirmée par des observations satellitaires qui évaluent l'augmentation récente de la productivité primaire nette des continents de l'hémisphère nord à environ 8%).

En dehors de l'observation d'une avancée systématique des dates de floraison des arbres fruitiers, l'illustration la plus nette se situe en viticulture, particulièrement sensible à ce réchauffement : l'ensemble des régions viticoles de ces mêmes zones montre une avancée des stades phénologiques, qui se répercute sur les dates de vendange, ainsi qu'une augmentation de la teneur en sucre et du degré alcoolique qui conduit, pour les vingt dernières années, à des vins généralement de haute qualité. Pour la forêt, on a observé également une avancée des dates de débourrement de l'ordre de 5 à 8 jours sur l'Eurasie, une migration vers le nord de la

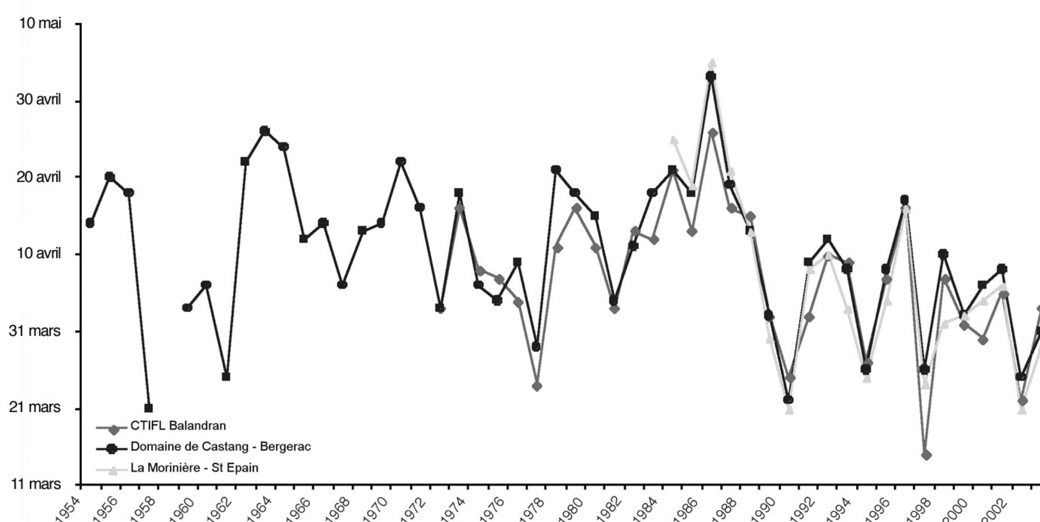


Fig. 5 : Evolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962 (à partir de la base de données Phenoclim)

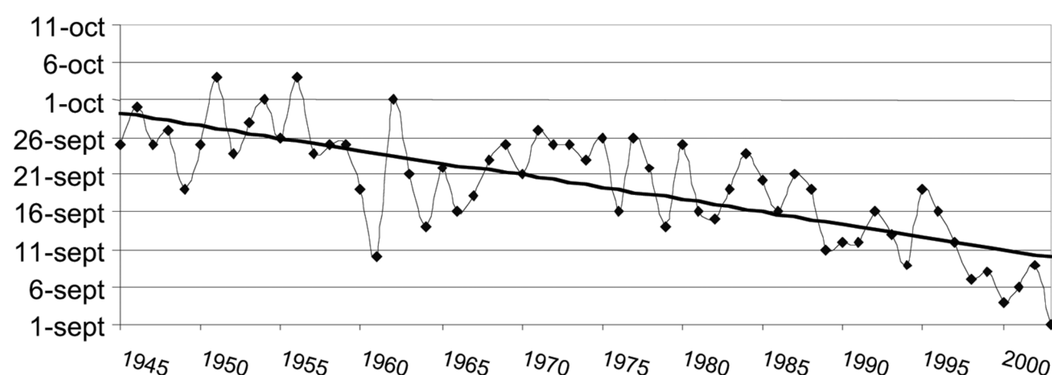


Fig. 6 : Evolution de la date de vendange à Châteauneuf-du-pape de 1945 à 2003 *(d'après Ganichot 2002)*

limite forêt-toundra et une augmentation des feux de forêt au Canada, ainsi qu'une extension de l'aire de certains insectes aux USA.

Au niveau européen, le récent état des lieux effectué par l'Agence européenne de l'environnement (EEA 2004) retient les tendances constatées sur une sélection d'indicateurs qui recoupe les systèmes et secteurs considérés par le GIEC : retrait des glaciers pour 8 sur 9 des régions concernées (avec un recul d'ensemble évalué au tiers de la surface et à la moitié de la masse entre 1850 et 1980, et 20 à 30% de perte supplémentaire depuis, dont 10% pour le seul été 2003), diminution de la période de couverture neigeuse (entre 45 et 75° N de 8,8 jours par décennie entre 1971 et 1994), augmentation de la saison de végétation de 10 jours entre 1962 et 1995 et de la productivité de la végétation de 12%, migration vers le nord et vers le haut de plantes (diversité enrichie de l'Europe du nord-ouest et en montagne pour 21 de 30 sommets alpins), accroissement du taux de survie de populations d'oiseaux hivernant en Europe, etc.

Au niveau français, si les agriculteurs (et les éleveurs) font état d'une modification des calendriers culturaux qui pourrait être liée à cette particularité climatique, d'ailleurs confirmés par des analyses récentes sur les dispositifs expérimentaux de l'INRA (pratiquement un mois d'avance depuis 1970 sur les dates de semis du maïs pour quatre sites couvrant l'ensemble du territoire), il n'a pas encore été possible de l'apprécier de manière objective, pas plus que d'évaluer son poids éventuel dans l'évolution récente des rendements. Par contre, l'analyse des données phénologiques (dates d'apparition des stades de développement) sur les arbres fruitiers et la vigne, cultures a priori beaucoup moins dépendantes sur ce point des décisions culturales, a permis de mettre en évidence des avancements significatifs de stades tels que la floraison des arbres fruitiers (voir les figures 5 et 6 sur l'avancée des stades de floraison des arbres fruitiers, une dizaine de jours en trente ans sur des pommiers dans le Sud-Est, ou des dates de vendange pour la vigne, presqu'un mois dans la même région au cours des cinquante dernières années, GANICHOT 2002). Ces observations, étendues pratiquement à l'ensemble du territoire français, avec évidemment des variantes suivant les espèces et les lieux, se sont confirmées depuis, et ont même été notablement amplifiées, en particulier pour la vigne (SEGUIN 2007).

L'augmentation de la productivité des forêts de l'ordre de 30 à 40% depuis le milieu du XX^e siècle, déjà mentionnée plus haut aux niveaux global et européen, est également observée au niveau français. Il n'est pas encore possible d'évaluer précisément la part que l'on doit attribuer aux différentes causes plausibles : effet déjà marquant de l'augmentation du gaz carbonique, du réchauffement ou d'une fertilisation par l'azote contenu dans les pluies (cette dernière hypothèse tenant la corde d'après les travaux récents de l'INRA de Nancy) ? Il faut souligner que l'augmentation du CO_2 atmosphérique, en interaction avec le réchauffement et avec la variation de la pluviométrie, aura des effets importants sur la productivité végétale, sur l'économie de l'eau et sur le bilan des nutriments (TUBIELLO *et al.,* 2007).

Au niveau des insectes et maladies, il apparaît certains signes indiscutables que l'on pourrait relier directement au changement climatique : extension vers le nord et en altitude de la chenille processionnaire du pin, observations sur le cycle du carpocapse qui a vu l'augmentation d'apparition d'une troisième génération, augmentation de la diversité des pucerons également concernés par l'avancée de la phénologie ; à l'inverse extinction du phomopsis du tournesol dans le Sud-Ouest après la canicule de 2003. Il faut également prendre en compte la possibilité de mouvements géographiques qui amènent certaines maladies ou ravageurs, véhiculés par les moyens modernes de transport, à s'installer dans des régions où les conditions climatiques le leur permettront. D'où les interrogations actuelles sur des maladies émergentes dans le monde animal (fièvre du Nil sur les chevaux en Camargue), mais aussi végétal : une mouche blanche (*Bemisia tabaci*) originaire des régions subtropicales a été repérée depuis une dizaine d'années en Europe, et menace actuellement les cultures sous serre du Sud du continent.

Ces différentes observations proviennent pour une très large part des travaux de l'INRA dans les domaines de l'agriculture et de la forêt (voir le site www.inra.fr/changement_climatique). Pour une vision plus large sur les milieux naturels, elles peuvent être complétées par celles rassemblées dans l'ouvrage de DUBOIS et LEFEVRE (2003) et le livret édité par le RAC-F (2005).

Conclusion

Les observations récentes attestent, au minimum, d'un réchauffement significatif depuis 1860 au niveau global, avec une accentuation marquée depuis les années 1980. Il est évidemment variable à la fois dans le temps et dans l'espace, mais la tendance générale paraît indiscutable et bien établie par les impacts directs ou indirects sur les milieux naturels et certaines activités humaines. Il est maintenant fortement probable qu'il soit causé par l'augmentation de l'effet de serre évalué dans les modèles climatiques, comme l'a établi clairement le rapport du GIEC de 2007.

Les observations que nous avons rapportées sur la France prennent en compte essentiellement les effets moyens du réchauffement observé depuis une vingtaine d'années (avec, pour les conséquences sur la phénologie, une rupture diagnostiquée à la période 1985-1989). Bien sûr, en complément de cette tendance de fond, les années récentes ont vu se manifester des évènements climatiques que l'on peut qualifier d'exceptionnels (par leur écart avec les valeurs normales ou moyennes), avec en premier lieu la canicule et sècheresse de 2003, mais aussi les sécheresses ultérieures (en particulier 2005 et 2006), puis l'hiver doux de 2006. Manifestement, ces épisodes ont des impacts instantanés (ou même plus tardifs, compte tenu des répercussions ultérieures) d'un ordre de grandeur égal ou notablement supérieur à celui de l'évolution moyenne. Il est certain que celle-ci sera déterminante à long terme, mais que la variabilité et son évolution en termes d'évènements extrêmes jouera un rôle tout aussi important dans le futur. C'est, sans doute, à l'heure actuelle, le facteur limitant pour prétendre pronostiquer ou préfigurer l'impact du changement climatique sur les écosystèmes en général, et cultivés en particulier.

B.S.

Bernard SEGUIN
INRA Mission "Changement climatique et effet de serre"
Site Agroparc
Domaine Saint-Paul
84914 Avignon cedex 9
Mél : seguin@avignon.inra.fr

Références bibliographiques

ACOT P.(2003) : *"Histoire du climat "*, ed. Perrin, 309 p.

AMIGUES J.P., DEBAEKE P., ITIER B., LEMAIRE G., SEGUIN B., TARDIEU F.,THOMAS A. editeurs (2006). "Sécheresse et agriculture. Adapter l'agriculture à un risque accru de manque d'eau". Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 pp.

Bethenod O., Ruget F., Katerji N., Combe L., Renard D., Impact of atmospheric CO_2 concentration on water use efficiency of maize. *Maydica* 46 (2001), 75-80.

Delecolle R., Soussana J.F., Legros J.P., Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 85 (1999), 45-51.

Domergue M., Garcia de Cortazar I., Seguin B., Brisson N., Ripoche D., Le réchauffement récent du climat en France et ses conséquences sur l'agriculture. Actes du XVI[e] colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Varsovie (Pologne), 10-14 septembre 2003. Blazejczyk K., Adamczyk A.B. (eds.), *Acad. Pol. Sci., doc. geogr* 39 (2003), 85-88.

Domergue M., Legave J.M., Calleja M., Moutier N., Brisson N., Seguin B. Réchauffement climatique : quels effets sur la floraison chez trois espèces fruitières ? *Arboriculture fruitière*, (2004), 578, 27-33.

Downing T.E, Harrison P.A., Butterfield R.E, Lonsdale K.G . Climate change, climatic variability and agriculture in Europe. An integrated assessment . Environmental change Institute, University of Oxford, Oxford (GB), (2000), research report n°21, 443 pp

DUBOIS P.J., LEFEVRE P. (2003) *Un nouveau climat. Les enjeux du réchauffement climatique,* ed La Martinière, 255p.

DUPOUEY J.L., ARROUAYS D., BALESDENT J, GABRIELLE B., GOSSE G., PIGNARD G., SEGUIN B., SOUSSANA J.F (2005). *Rôle de l'agriculture et des forêts dans l'effet de serre.* In "Chimie verte", P.Colonna ed., Lavoisier, ch 16, 447-486.

EEA (2004) : Impacts of Europe changing climate. An indicator-based assessment. EEA report n°2/2004, 107 pp.

Ewert F., Rousenvell M.D.A., Reginster I., Metzger M.J., Leemans R. Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity, *Agric. Ecosyst. Environ.,* 107, 101-116.

GANICHOT B. (200) : Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales. Actes des 6[e] rencontres rhodaniennes, Institut Rhodanien, Orange : 38-41.

GIEC (2001) : Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the third assessment report of IPCC. Cambridge University Press, Cambridge

GIEC (2007a): Climate change 2007 : the physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, aussi accessible en version française sur le site de

la MIES : www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_i_du_giec_2007

GIEC (2007b): Climate change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, version française sur le site web de la MIES, www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_ii_du_giec_2007.

GIEC (2007c): Climate change 2007: mitigation of climate change. Summary for policymakers. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, version française sur le site web de la MIES, www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_iii_du_giec_2007

Assessment Working Group, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 200 p.

LE ROY LADURIE E. (1983) : *Histoire du climat depuis l'an mil,* Collection champs, ed Flammarion, deux volumes (tome I : 287 p., tome II : 254 p.)

MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M.,CANELAS M., MESTRE C.O.(2002) : Les changements climatiques en France au XX[e] siécle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, *La Météorologie*, 38 : 45-56.

MOISSELIN J.M et CANELAS M. (2005) : Longues séries d'insolation homogénéisées en France, CR Géoscience, 337, 729-734 de référence pour l'étude des changements climatiques. Actes des journées AMA édités par Météo-France, Toulouse, 95-98.

Olesen J.E, Bindi M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy, *Eur. Journ. Agronomy,* (2002), 16, 239-262.

Perarnaud V., Seguin B., Malezieux., Déqué M., Loustau D. Agrometeorological research and applications needed to prepare agriculture and forestry adapt to 21[st] century climate change. *Climatic change*, (2005), 70, 319-340.

Reddy K.R., Hodges R.F., *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, Wallingford (2000).

Rosenzweig C., Hillel D., Climate change and the global harvest. Oxford University Press, Oxford (1998).

Ruget F., Bethenod O., Combe L., Repercussions of increased atmospheric CO2 on maize morphogenesis and growth for various temperature and radiation levels. *Maydica* 41 (1996), 181-191.

RAC-F 2005 : *Changement climatique : la nature menacée en France*. Brochure éditée collectivement avec FNE, WWF, LPO, Greenpeace, 24 pp.

SEGUIN B., DOMERGUE M., GARCIA DE CORTAZAR I., BRISSON N., RIPOCHE D.(2004). : Le réchauffement climatique récent : impact sur les arbres fruitiers et la vigne. *Lettre pigb-pmrc France Changement global*, n° 16, 50-54.

Seguin B., Baculat B., Baret F., Brisson N., Huard F., Ruget F., An overview of the consequences of the 2003 summer for agriculture in France. Proceedings of the 8th European Society of Agronomy congress. Copenhague (Danemark), 11-15 juillet 2004. ESA (2004), 335-336.

Seguin B., Garcia de Cortazar.I , Climate warming : consequences for viticulture and the notion of terroirs in Europe. *Acta Horticulturae* (2005, 689,61-71)

Seguin B., Brisson N., Loustau D., Dupouey J.L. Impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt. In "L'homme face au climat", actes du symposium du Collège de France, Paris, 12-13 oct 2004, ed Odile Jacob (2006, 177-204).

SEGUIN B. (2007) Le réchauffement climatique et ses conséquences pour la viticulture, communication au colloque "Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ?" organisé par la chaire Unesco Vin et culture de l'Université de Bourgogne, Dijon, 28-30 mars 2007

Tubiello FN, Soussana JF, Howden M, and Easterling W 2007. Crop and pasture response to climate change PNAS (in press).

Soussana J.F., Changement climatique. Impacts possibles sur l'agriculture et adaptations possibles. In : Demeter, Armand Colin, Paris (2001), 195-222.

Résumé

Le changement climatique, tel qu'il est prédit pour le XXI[e] siècle, aura un impact profond sur les écosystèmes, il a fait l'objet d'un grand nombre d'études dont on peut trouver la synthèse dans les rapports du GIEC. Les projections s'appuient, en général, sur des modélisations du fonctionnement écophysiologique des couverts, qui conjuguent l'effet d'une augmentation du dioxyde de carbone (susceptible d'accroître la photosynthèse de l'ordre de 30%) aux modifications liées directement à celles des facteurs climatiques dominants, au premier rang desquels la température et la pluviométrie. Il faudra également s'attendre à une évolution sensible des aires géographiques, de culture ou d'adaptation.

Si les projections effectuées depuis une vingtaine d'années paraissaient encore, il y a peu, relever de la science-fiction pour la fin du XXI[e] siècle, l'évolution récente du climat en fait déjà une question d'actualité réelle, tout en permettant d'obtenir une première évaluation de la pertinence des projections. Même s'il est généralement très délicat d'isoler l'action éventuelle du réchauffement global de celui d'un grand nombre d'autres facteurs, il est possible d'observer des impacts sur les écosystèmes cultivés ou naturels, en particulier au niveau de leur phénologie (pour la France, dates de floraison des arbres fruitiers, de vendange et de semis du maïs) mais aussi, dans certains cas, de leur productivité (forêts). Ils attestent de la réalité d'un climat actuel significativement différent de celui des années 1940-1970 et très vraisemblablement en cours d'évolution sous l'action de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Summary

Impact of climatic change on natural and farmed ecosystems

Climatic change as it is predicted for the 21st century will have a profound effect on ecosystems and so has been the object of a very large number of studies, the summaries of which are available in the reports of the IGSC (GIEC). Forecasting is generally based on modelling of the eco-physiological behaviour of the various forms of plant cover, combining the effect of the increase in carbon dioxide (likely to boost photosynthesis by an order of 30%) with modifications directly related to changes in dominant climatic factors, of which temperature and rainfall take pride of place. A significant evolution is also to be expected in geographical or cultivated areas or in buffer areas of adaptation.

Though projections advanced over the last twenty years have, even recently, still seemed to belong to the realm of late-21st-century science fiction, the recent evolution in climate has given the issue current import, at the same time enabling us to make some early assessment of the relevance of the predictions. While, generally speaking, it remains tricky to distinguish the supposed impact of climate change from the effects of a large range of other factors, in fact it remains possible to observe effects on natural and farmed ecosystems, notably in relation to their phenology (for France : dates for the flowering of fruit trees, grape harvesting, sowing of sweet corn) but also, in some cases, to their productivity (forests). Such impact bears witness to the reality of a present-day climate significantly different from that of the 1940s-1970s and evidently undergoing change through the rise in the concentration of greenhous gases in the atmosphere.

Riassunto

Impatto del cambiamento climatico sugli ecosistemi naturali e coltivati

Il cambiamento climatico tale che è predetto per il secolo XXI°, avrà un impatto profondo sugli ecosistemi. Ha fatto l'oggetto di un grande numero di studi di cui si può trovare la sintesi nei rapporti del GIEC. Le proiezioni si appoggiano, in generale, su modelizzazioni del funzionamento ecologico dei coperti che congiungano l'effetto di un aumento del diossido di carbonio (suscettibile di accrescere la fotosintesi nel ordine di 30 %) alle modifiche legate direttamente a quelle dei fattori climatici dominanti, al primo posto dei quali la temperatura e la pluviometria. Bisognerà anche aspettarsi a un'evoluzione sensibile delle aere geografiche di colture o di adattamento

Se le proiezioni effettuate da una ventina d'anni parevano ancora, poco fa, rilevare dalla fantascienza per la fine del secolo XXI°, l'evoluzione recente del clima ne fa già una questione di attualità reale, mentre permette di ottenere una prima valutazione della pertinenza delle proiezioni. Pure essendo generalmente delicatissimo di isolare l'azione evetuale del riscaldamento globale da quella di un grande numero di fattori, è possibile osservare impatti sugli ecosistemicoltivati o naturali, in particolare al livello della loro fenologia (per la Francia, date di fioritura degli alberi da frutto, di vendemia e di seminare del granturco) ma anche, in certi casi, della loro produttività (foreste). Attestano della realtà di un clima attuale significativamente differente di quello degli anni 1940-1970 e molto verosimilmente in corso di evoluzione sotto l'azione dell'aumento della concentrazione di gas ad effetto serra nell'atmosfera.